



УДК 62-83:004.942

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШТАНГОВОГО ГЛУБИННОГО НАСОСА В СРЕДЕ MATLAB**

### **THE SIMULATION OF THE SUCKER ROD PUMPS ELECTRICAL DRIVE BY USING MATLAB SOFTWARE**

**Иоффе Игорь Святославович**, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: effect66@mail.ru. Тел.: +7 (343) 375-46-46

**Сюзёв Григорий Тимофеевич**, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: edd.enin@urfu.ru. Тел.: +7 (343) 375-46-46

**Зюзов Анатолий Михайлович**, д-р техн. наук, профессор каф. Электропривода и автоматизации промышленных установок Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru, Тел.: +7 (343) 375-46-46

**Костылев Алексей Васильевич**, канд. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: a.v.kostylev@urfu.ru. Тел.: +7 (343) 375-46-46

**Метельков Владимир Павлович**, канд. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: v.p.metelkov@urfu.ru. Тел.: +7 (343) 375-46-46

**Igor Ioffe**, Master Student, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: effect66@mail.ru. Ph.: +7 (343) 375-46-46

**Syuzev Grigoriy**, Master Student, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: edd.enin@urfu.ru. Ph.: +7 (343) 375-46-46

**Anatoliy Zyuzev**, Doctor Sc., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru, Ph.: +7 (343) 375-46-46

**Alexey Kostylev**, Cand. Sc., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: a.v.kostylev@urfu.ru. Ph.: +7 (343) 375-46-46

**Vladimir Metelkov**, Cand. Sc., Ural federal university named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: v.p.metelkov@urfu.ru. Ph.: +7 (343) 375-46-46

**Аннотация:** В статье описываются этапы разработки и подготовки математической модели электропривода установки штангового глубинного насоса (УШГН) в среде MATLAB. Целью моделирования является получение диаграмм моментов и скоростей элементов УШГН для исследования динамических нагрузок в электроприводе.

**Abstract:** This article describes the stages of development and preparation of a mathematical model of the electric drive of sucker rod pump in MATLAB. The purpose of the simulation is to obtain torque and speed diagrams of sucker rod pump elements for the study of dynamic loads in the drive.

**Ключевые слова:** моделирование; механическая часть электропривода; штанговый глубинный насос.  
**Key words:** simulation; mechanical part of electrical drive; sucker rod pumps.

## ВВЕДЕНИЕ

Моделирование динамических процессов в механической части электропривода сегодня становится все более актуальной задачей, решение которой позволяет провести анализ теплового состояния двигателя, оценить ресурс электрической машины, провести диагностику как электрической, так и механической части электропривода. Кроме того, корректная и полная модель электропривода может позволить решить ряд задач управления технологическим процессом [1].

Задача моделирования процессов в сложных механизмах требует применения достаточно серьезного математического аппарата и является, зачастую, недоступной для решения в рамках учебных проектов без применения специальных средств моделирования. В качестве удобного для пользователя инструмента моделирования может быть выбран широко используемый в инженерных задачах пакет MATLAB. Среда моделирования Simulink, предлагаемая разработчиками, содержит в своем составе дополнительные наборы инструментов, такие как: SimPowerSystem (моделирование электротехнических устройств) и SimMechanics (моделирование механической части). Их совместное использование позволяет выполнять моделирование электропривода, анализируя электромеханические процессы с учетом их взаимного влияния.

В настоящей статье рассматривается пример модели достаточно сложного с точки зрения механической части электропривода установки штангового глубинного насоса (УШГН). Целью исследования является оценка момента и скорости на валу двигателя в пусковом и квазиустановившемся режиме работы.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Расчетная кинематическая схема установки штангового глубинного насоса приведена на рис.1. В качестве исходных параметров модели задаются массы элементов и их геометрические размеры. Для упрощения анализа в первом приближении все элементы кинематической схемы представлены как абсолютно жесткие звенья. При этом движение тел происходит в одной плоскости.

Вторым допущением при моделировании является отсутствие учета процессов в скважине. Нагрузка на шток принята постоянной и представлена как присоединенная масса.

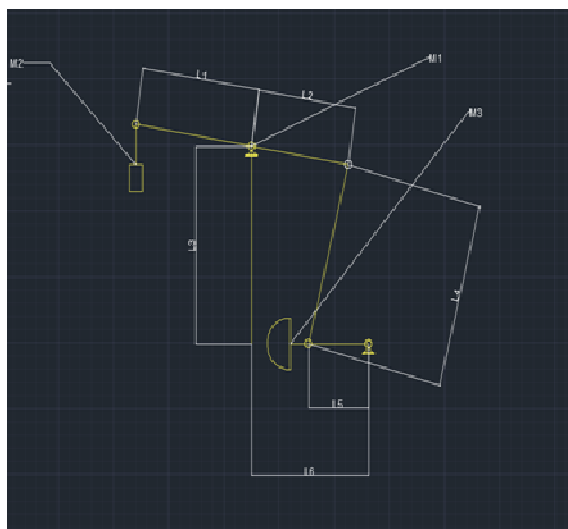


Рис.1. Расчетная кинематическая схема штангового глубинного насоса

Параметры механической части для одного из существующих УШГН приведены в табл.1

Таблица 1.  
Параметры механической части

Имя	Описание	Значение
M1	Масса балансира	2000 кг
M2	Масса штока с грузом	800 кг
M3	Масса противовеса	4500 кг
L1	Длина переднего плеча балансира	229 см
L2	Длина заднего плеча балансира	200 см
L3	Высота установки балансира	300 см
L4	Длина шатуна	300 см
L5	Длина кривошипа	110 см
L6	Расстояние между опорами	200 см

## СТРУКТУРА МОДЕЛИ

Математическое описание электропривода УШГН в виде структурной схемы Simulink приведено на рис.2. В данном примере двигатель представлен как линеаризованная электрическая машина, что соответствует либо двигателю постоянного тока, либо асинхронному двигателю, работающему на линейном участке характеристики [2]. Мощность двигателя – 100 кВт. Модель выполнена в традиционных блоках Simulink. При необходимости модель двигателя может быть легко заменена на более сложную при использовании готовых блоков набора инструментов SimPowerSystem.

Модель штангового глубинного насоса составлена из блоков набора SimMechanics [3]. Тела (в данном случае - стержни) модели описываются блоками *Body*. В этих блоках указывается масса, центр масс, моменты инерции, и геометрия тела (длина, ширина и вид объекта). Соединения элементов описаны блоками *Revolute* и *Weld*. Блок *Revolute* описывает тип соединения, при котором тела вращаются друг относительно друга. Блок *Weld* (сварное соединение) указывает на жесткую связь тел. Для задания точки привязки модели или начала системы координат используется блок *Ground*. Взаимодействие блоков набора SimMechanics с традиционными блоками Simulink осуществляется с помощью элементов *Joint sensor* и *Joint actuator*. Элемент *Joint sensor* (датчик) позволяет наблюдать механические координаты модели, а *Joint actuator* – формировать воздействие на систему в виде усилия или момента.

В данном случае на модель механической части подается сформированный моделью линеаризованного двигателя электромагнитный момент. Сигнал подается на блок *Body5*, описывающий кривошип с противовесом. Далее присоединен шатун – блок *Body1* с длиной *L4* и типом соединения (вращательного) *Revolute2*. Блок *Body2* – балансир с типом вращательного соединения *Revolute3*. Блок *Body3* – опора, присоединенная к земле с системой координат *Ground1*, и стыкующаяся с балансиrom *Body2* при помощи вращательного соединения *Revolute5*. Завершается модель блоком *Body4*, представляющим собой шток с грузом.

На рис.3 приводится графическое представление описанной с помощью структурной схемы модели.

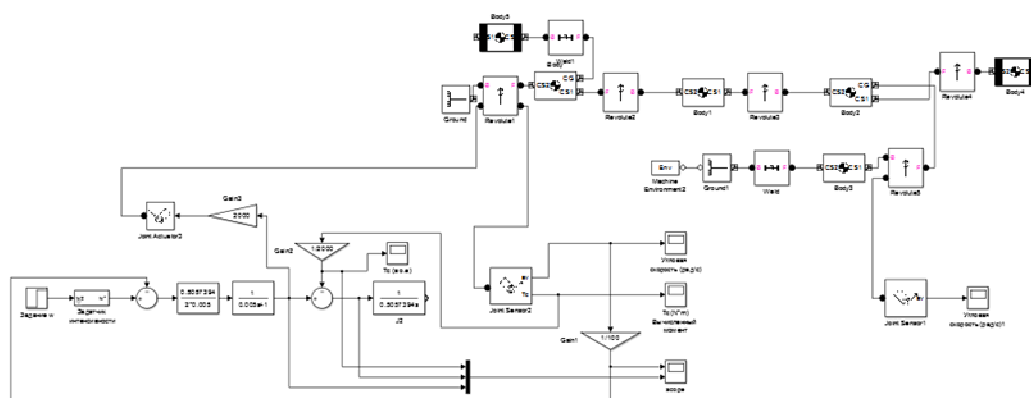


Рис. 2. Структурное представление математической модели электропривода УШГН в среде Matlab/Simulink

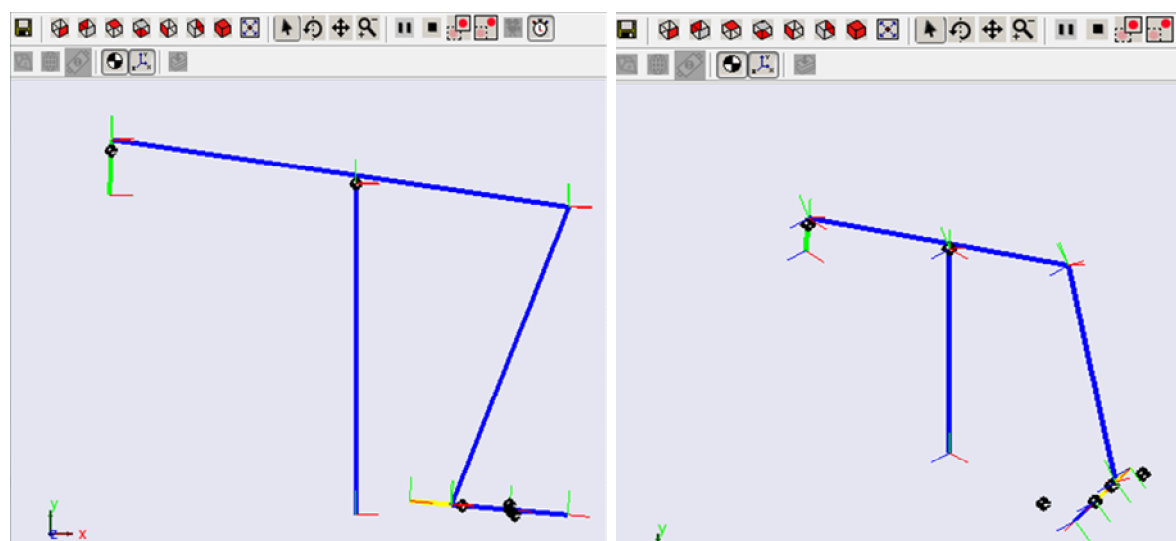


Рис. 3. Графическое представление математической модели механики УШГН в среде Matlab SimMechanics

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты расчетов процесса пуска и выхода системы на квазиустановившийся режим приведены на рис.4 – рис.7.

В качестве исследуемых координат выбраны: угловая скорость кривошипа (рис.4.); момент, приложенный к кривошипу (рис.5.); угловая скорость балансира (рис.6.). На рис.7. приведены скорость и момент на валу приводного двигателя.

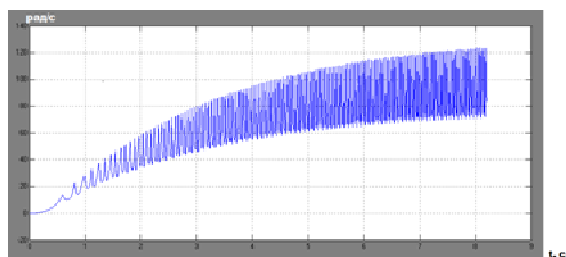


Рис. 4. Угловая скорость кривошипа

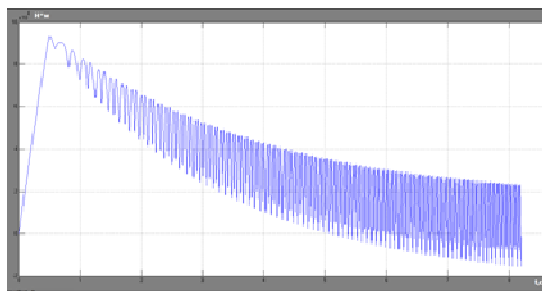


Рис. 5. Момент, приложенный к кривошипу

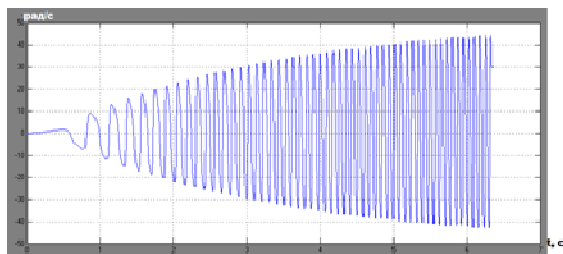


Рис. 6. Угловая скорость балансира

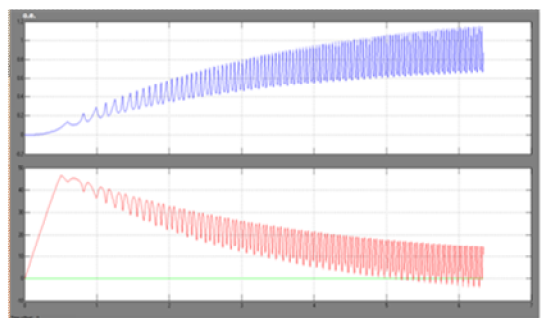


Рис. 7. Угловая скорость и момент двигателя

## ВЫВОДЫ

Рассмотренная методика построения моделей для механической части электропривода достаточно проста и удобна для обучения. Результаты сопоставлены с результатами моделирования, полученными в специализированных программных продуктах [4].

Далее полученная модель механической части электропривода может быть интегрирована в систему, позволяющую выполнять комплексные расчеты в области оценки энергетики электропривода, его надежности, а также обеспечивающий решение задач диагностики.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зюзев А.М., Метельков В.П. Оценка теплового ресурса электродвигателя штанговой глубинной насосной установки // Научные труды SWorld. 2012. Т. 5. № 2. С. 59-62.
2. Шрейнер Р. Т., Костылев А. В., Кривовяз В. К., Шилин С. И. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления : учеб. пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. 361 с.
3. Щербаков В.С. Моделирование и визуализация движений механических систем в MATLAB: Учебное пособие / В.С.Щербаков, М. С. Корытов, А.А. Руппель, В.А. Глушеч, С.А. Милушенко. Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. 84с.
4. Свидетельство РФ о регистрации программы для ЭВМ № 2003612481. Программный моделирующий комплекс «Электропривод станка-качалки с асинхронным двигателем» («ЭСКАДа») / Зюзев А.М., Метельков В.П., Попов А.С. М.: РОСПАТЕНТ, 12.11.2003 г.